Standard Operating Procedure

SOP-RDWC-CAN-CS1:
Crop Steering im RDWC-System

Unternehmen / Betrieb: SKX-RDWC
Abteilung: Hydroponik / Cannabisproduktion
Kontakt: skx@hotmail.de / https://www.instagram.com/skx.rdwc/

Vertraulichkeit: Nur für interne Nutzung – nicht ohne Genehmigung weitergeben.

Revision No.	Extent of Revision	Date of Revision	Issued by	Approved by:
0	Initial Release	11.05.2026	SKX-RDWC	SKX-RDWC

Einführung

Zweck der SOP

Diese SOP beschreibt ein standardisiertes Verfahren zur **gezielten Steuerung des Pflanzenverhaltens im RDWC-System** durch kontrollierte Beeinflussung von:

- Stoffwechselaktivität via:
  - Wassertemperaturen
  - Transpiration
  - metabolische Aktivität
  - systemischem Stressniveau

- Ziel ist die reproduzierbare Steuerung von:
  - Wachstum (vegetative Richtung)
  - Leistung (generative Richtung)

ohne direkte mechanische oder strukturelle Eingriffe an der Pflanze selbst.

Geltungsbereich

Diese SOP gilt für alle RDWC-Systeme, in denen Pflanzen direkten Kontakt zur Nährlösung haben und aktiv über Umwelt- und Wasserparameter gesteuert werden.

Die Anwendung dieser SOP erfolgt insbesondere:

- ab Beginn der Bulk-Phase
- während der produktiven Blütenaufbauphase
- während der finalen Reifung
- im Fade-Out

Die SOP ist nicht für die frühe vegetative Phase oder den Stretch vorgesehen, da in diesen Entwicklungsstadien andere physiologische Steuerziele und Wachstumsdynamiken im Vordergrund stehen.

Zielrisiken

Diese SOP dient der Vermeidung von Fehlsteuerungen, die während der Bulk-Phase, finalen Reifung und im Fade-Out zu Leistungs-, Qualitäts- oder Stabilitätsverlusten führen können.

Folgende Risiken sollen durch die Einhaltung der SOP ausgeschlossen oder minimiert werden:

- unkontrollierter Stretch oder nachträgliches Längenwachstum nach der Übergangsphase
- mangelnde Blütenverdichtung trotz grundsätzlich stabiler Systemparameter
- falsche Interpretation von EC-Verläufen als Nährstoffmangel oder Überdüngung
- metabolischer Druck ohne messbare Leistungssteigerung
- Sauerstofflimitierung durch ungeeignete oder zu aggressive Temperaturführung
- Wachstumsstillstand durch zu schnelle oder zu starke Eingriffe
- Fehlinterpretation von negativem Stress als gewünschte generative Reaktion
- Verlust der Wasseraufnahme trotz erhöhter Transpirationsanforderung
- Qualitätsverlust durch instabile Wassertemperatur, DO-, ORP- oder VPD-Werte

Einschränkungen und nicht abgedeckte Risiken

Diese SOP beschreibt ausschließlich die gezielte Steuerung des Pflanzenverhaltens im RDWC-System ab der Bulk-Phase über definierte Wasser- und Umweltparameter.

Sie ersetzt keine vollständige Kulturführung, keine Nährstoffstrategie, keine Hygienestrategie und keine grundlegende Systemauslegung. Die Wirkung dieser SOP ist nur dann reproduzierbar, wenn die Basisparameter des RDWC-Systems bereits stabil laufen und keine grundlegenden Mängel in Genetik, Licht, Nährlösung, Hygiene oder Systemtechnik vorliegen.

Nicht abgedeckt sind:

1. **Genetische Limitierungen**
   - Wuchsstruktur, Blütendichte, Stretch-Verhalten und Stoffwechselkapazität sind genetisch unterschiedlich ausgeprägt.
     → Nicht jede Genetik reagiert identisch auf Crop Steering.
2. **Unzureichende Lichtleistung**
   - Ohne ausreichende Lichtintensität und gleichmäßige Ausleuchtung kann keine maximale Leistungssteigerung erreicht werden.
3. **Fehlerhafte Nährstoffbasis**
   - Instabile oder falsch angemischte Nährlösungen verfälschen jede Steuerstrategie.
     → Siehe SOP-RDWC-CAN-N1 – pH- & Nährstoff-Stabilisierung.
4. **Pathogene Belastungen**
   - Biologische Aktivität, Biofilm oder Wurzelpathogene beeinflussen Transpiration, Wasseraufnahme und Stoffwechsel negativ.
     → Siehe SOP-RDWC-CAN-S1 – Behandlung von Wurzelfäule.
5. **Systemdesign**
   - Ungleichmäßige Zirkulation, schlechte Sauerstoffverteilung oder ungeeignete Pumpen-/Leitungsdimensionierung beeinflussen die Steuerwirkung.
6. **Extreme Umweltbedingungen**
   - Instabile Luftfeuchtigkeit, hohe Temperaturen oder schlechte Luftzirkulation verhindern eine kontrollierte Steuerung.

Verantwortlichkeiten

Der Betreiber trägt die volle Verantwortung für die ordnungsgemäße Anwendung dieser SOP sowie für die kontrollierte Steuerung der Systemparameter während der gesamten Bulk-Phase, finalen Reifung und des Fade-Outs. Fehlerhafte oder zu aggressive Steuermaßnahmen können zu unerwünschtem Stress, Leistungsabfall oder Wachstumsstörungen führen. Abweichungen von den beschriebenen Parametern und Vorgehensweisen erfolgen ausschließlich auf Verantwortung des Betreibers. Die Ersteller dieser SOP übernehmen keine Haftung für Schäden, Ertragsverluste oder Folgen, die aus der Anwendung dieser Anleitung resultieren.

Erforderliche Materialien

Für die kontrollierte und reproduzierbare Umsetzung dieser SOP sind folgende Systeme, Messmittel und Rahmenbedingungen erforderlich:

Systemtechnik

- funktionsfähiges RDWC-System mit stabiler Rezirkulation
- ausreichende Sauerstoffversorgung der Nährlösung
- leistungsgeeigneter Water Chiller zur präzisen Steuerung der Wassertemperatur
- regelbare Zu-, Abluft- und Umlufttechnik
- Möglichkeit zur kontrollierten Wasserkühlung bzw. Temperatursteuerung

Mess- und Kontrolltechnik

- kalibriertes pH-Messgerät
- kalibriertes EC-Messgerät
- zuverlässige Messung der Wassertemperatur
- Klimaüberwachung für Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit
- VPD-Berechnung bzw. VPD-Monitoring
- ORP- und/oder DO-Messung (empfohlen)

Betriebs- und Steuerungsgrundlagen

- definierter Dünge- und Additivplan
- dokumentierte Zielparameter je Pflanzenphase
- Möglichkeit zur kontinuierlichen Beobachtung des Pflanzenverhaltens
- Protokollierung relevanter System- und Verlaufsdaten zur Reproduzierbarkeit der Steuerungsmaßnahmen

Erfolgsvoraussetzungen

Die Wirksamkeit dieser SOP setzt stabile Systembedingungen sowie eine präzise kontrollierbare Steuerung aller relevanten Wasser- und Umweltparameter voraus. Die Methode basiert auf der gezielten Beeinflussung physiologischer Prozesse und erfordert daher ein reproduzierbares und technisch stabiles Betriebsumfeld. Ein leistungsgeeigneter Water Chiller ist für diese SOP essenziell, da die kontrollierte Absenkung der Wassertemperatur den zentralen Steuerhebel dieser Strategie darstellt. Ohne aktive Kühlung kann die gewünschte metabolische Steuerwirkung während der Bulk-Phase und des Fade-Outs nicht zuverlässig reproduziert werden.

Insbesondere erforderlich

- stabile Wasser- und Klimaparameter
- kontrollierte Transpirationsbedingungen
- konstante Sauerstoffverfügbarkeit im Wurzelbereich
- stabile Nährstoffverfügbarkeit ohne starke EC- oder pH-Schwankungen
- hygienisch stabile Wasserbedingungen
- kontinuierliche Pflanzenbeobachtung
- konsequente Überwachung und Dokumentation aller relevanten Messwerte
- Instabile Systembedingungen oder unkontrollierte Parameterverläufe können die gewünschte Steuerwirkung erheblich beeinträchtigen und zu nicht reproduzierbaren Ergebnissen führen.

Verfahren

1. Grundprinzip des Crop Steering im RDWC

1.1 Steuerung über Wassertemperatur und metabolischen Druck

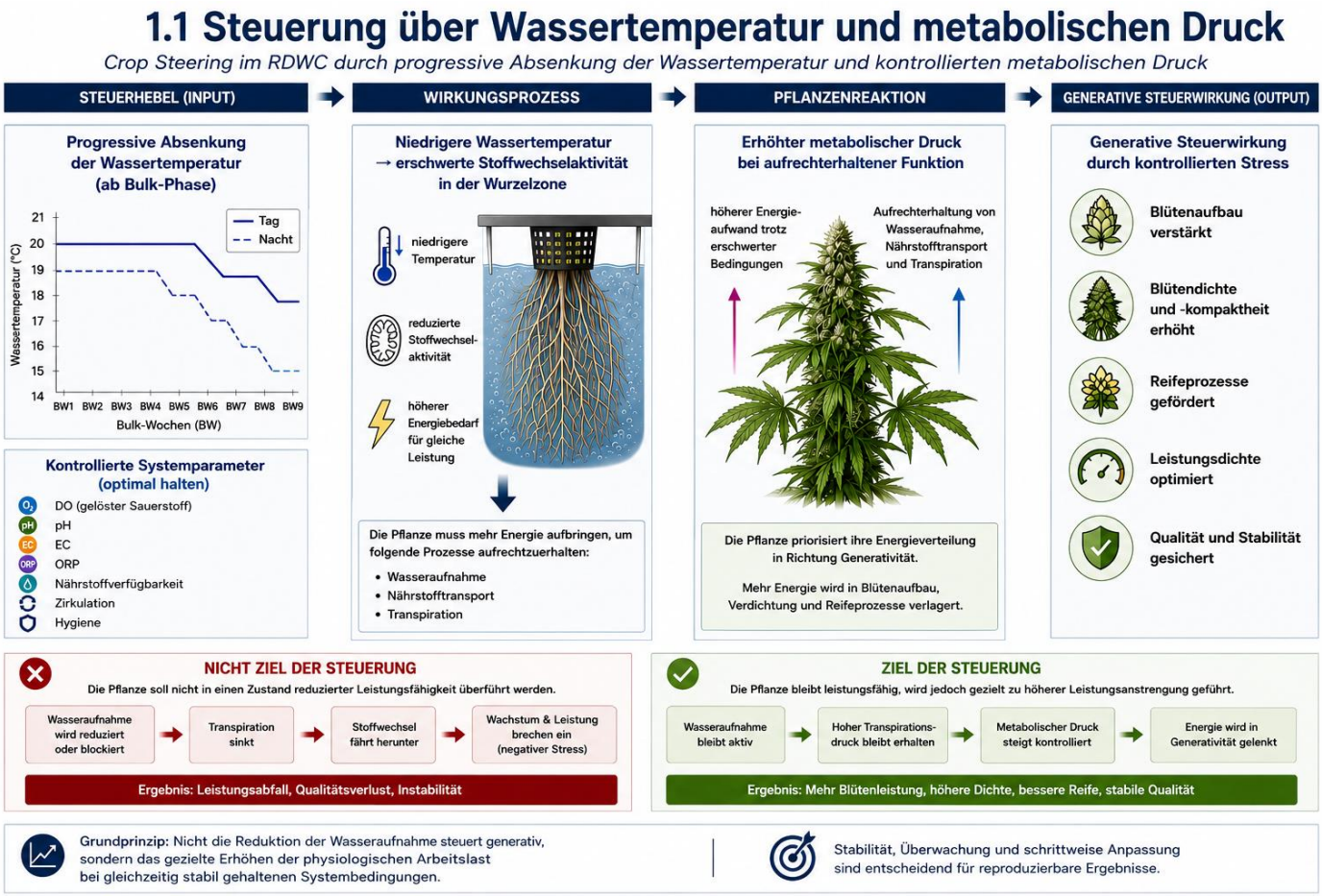
Im RDWC erfolgt Crop Steering nicht über Substratfeuchte, Trocknungszyklen oder Drain-Verhalten, sondern über die gezielte Beeinflussung der physiologischen Leistungsfähigkeit der Pflanze durch kontrollierte Systemparameter.

Der zentrale Steuerhebel dieser SOP ist die **progressive Absenkung der Wassertemperatur** ab der Bulk-Phase. Dabei werden die Tag- und Nachtwerte der Nährlösung stufenweise reduziert, um einen kontrollierten metabolischen Druck aufzubauen.

Durch niedrigere Wassertemperaturen wird die Stoffwechselaktivität der Wurzelzone gezielt erschwert. Die Pflanze muss mehr Energie aufbringen, um Wasseraufnahme, Nährstofftransport und Transpiration weiterhin aufrechtzuerhalten.

Dieser kontrollierte Stress wirkt generativ, da die Pflanze ihre Energie zunehmend in Blütenaufbau, Verdichtung und Reifeprozesse verlagert.

Die Steuerung erfolgt somit nicht durch Blockieren der Wasseraufnahme, sondern durch das gezielte Erhöhen der physiologischen Arbeitslast bei gleichzeitig stabil gehaltenen Systembedingungen.


1.1 Steuerung über Wassertemperatur und metabolischen Druck
Crop Steering im RDWC durch progressive Absenkung der Wassertemperatur und kontrollierten metabolischen Druck
STEUERHEBEL (INPUT)
WIRKUNGSPROZESS
PFLANZENREAKTION
GENERATIVE STEUERWIRKUNG (OUTPUT)
Progressive Absenkung der Wassertemperatur (ab Bulk-Phase)
Tag
Nacht
Wassertemperatur (°C)
21
20
19
18
17
16
15
14
BW1 BW2 BW3 BW4 BW5 BW6 BW7 BW8 BW9
Bulk-Wochen (BW)
Kontrollierte Systemparameter (optimal halten)
DO (gelöster Sauerstoff)
pH
EC
ORP
Nährstoffverfügbarkeit
Zirkulation
Hygiene
Niedrigere Wassertemperatur → erschwerte Stoffwechselaktivität in der Wurzelzone
niedrigere Temperatur
reduzierte Stoffwechsel-aktivität
höherer Energiebedarf für gleiche Leistung
Die Pflanze muss mehr Energie aufbringen, um folgende Prozesse aufrechtzuerhalten:
• Wasseraufnahme
• Nährstofftransport
• Transpiration
Erhöhter metabolischer Druck bei aufrechterhaltener Funktion
höherer Energie-aufwand trotz erschwerter Bedingungen
Aufrechterhaltung von Wasseraufnahme, Nährstofftransport und Transpiration
Die Pflanze priorisiert ihre Energieverteilung in Richtung Generativität.
Mehr Energie wird in Blütenaufbau, Verdichtung und Reifeprozesse verlagert.
Generative Steuerwirkung durch kontrollierten Stress
Blütenaufbau verstärkt
Blütendichte und -kompaktheit erhöht
Reifeprozesse gefördert
Leistungsdichte optimiert
Qualität und Stabilität gesichert
NICHT ZIEL DER STEUERUNG
Die Pflanze soll nicht in einen Zustand reduzierter Leistungsfähigkeit überführt werden.
Wasseraufnahme wird reduziert oder blockiert
Transpiration sinkt
Stoffwechsel fährt herunter
Wachstum & Leistung brechen ein (negativer Stress)
Ergebnis: Leistungsabfall, Qualitätsverlust, Instabilität
ZIEL DER STEUERUNG
Die Pflanze bleibt leistungsfähig, wird jedoch gezielt zu höherer Leistungsanstrengung geführt.
Wasseraufnahme bleibt aktiv
Hoher Transpirations-druck bleibt erhalten
Metabolischer Druck steigt kontrolliert
Energie wird in Generativität gelenkt
Ergebnis: Mehr Blütenleistung, höhere Dichte, bessere Reife, stabile Qualität
Grundprinzip: Nicht die Reduktion der Wasseraufnahme steuert generativ, sondern das gezielte Erhöhen der physiologischen Arbeitslast bei gleichzeitig stabil gehaltenen Systembedingungen.
Stabilität, Überwachung und schrittweise Anpassung sind entscheidend für reproduzierbare Ergebnisse.

1.2. Einfluss des Umgebungsklimas auf die generative Steuerung

Die Wirkung der Temperatursteuerung wird zusätzlich maßgeblich durch das Umgebungsklima beeinflusst. Insbesondere das VPD (Vapor Pressure Deficit) spielt eine zentrale Rolle bei der Aufrechterhaltung der Transpiration und Wasseraufnahme während der generativen Steuerung.

Während der vegetativen Phase werden überwiegend optimale bzw. ausgeglichene VPD-Bereiche gefahren, um maximale Zellaktivität, stabile Wasseraufnahme und kontrolliertes Wachstum zu gewährleisten.

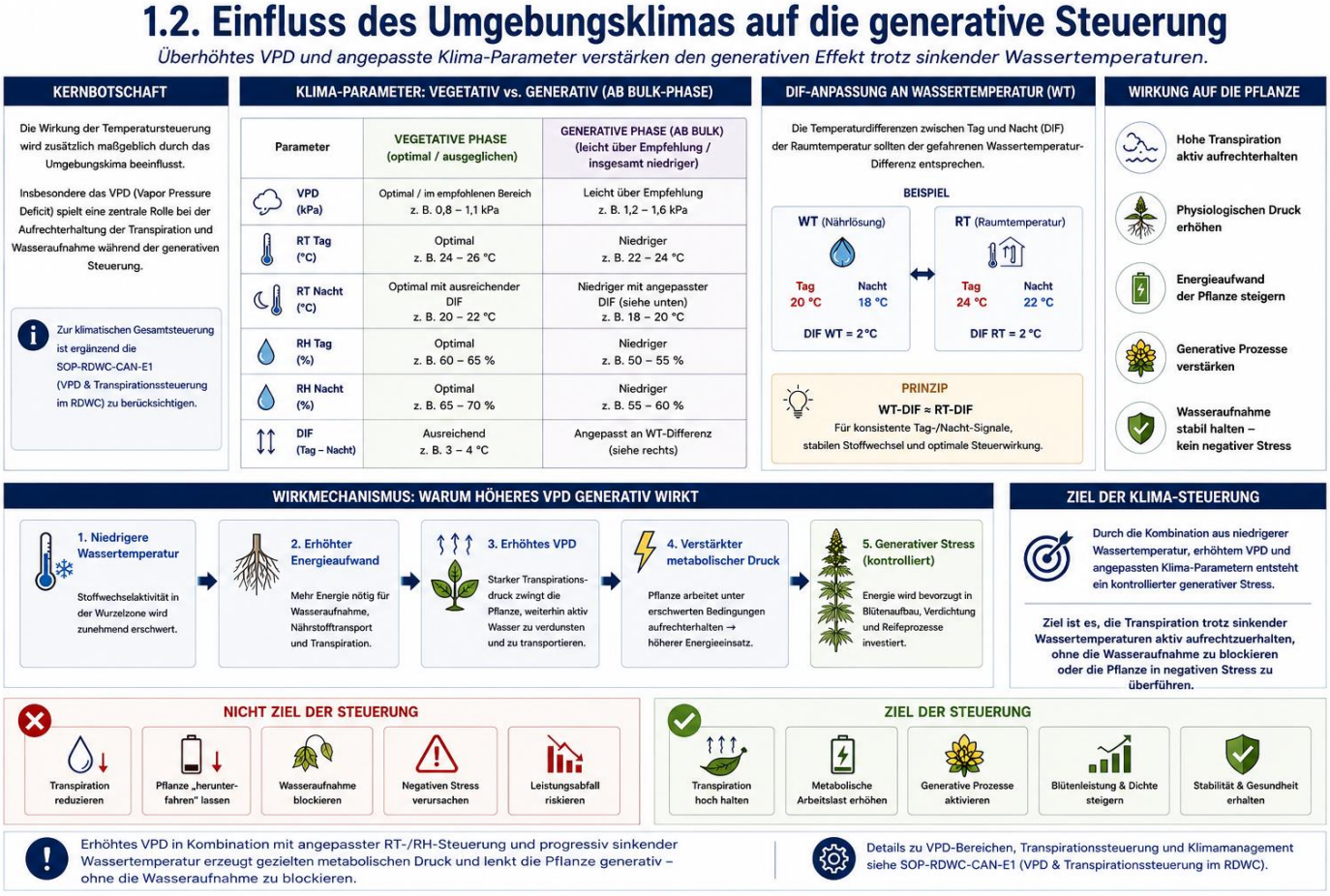
Ab der Bulk-Phase wird das VPD hingegen gezielt leicht über die üblichen Empfehlungen hinaus angehoben. Gleichzeitig sollten insgesamt niedrigere RT- und RH-Werte gefahren werden, um die generative Steuerung gezielt zu unterstützen.

Hierbei sollten die Temperaturdifferenzen zwischen Tag- und Nachtphase (DIF) der Raumtemperatur entsprechend an die gefahrenen Wassertemperaturen angepasst werden. Wird beispielsweise tagsüber mit 20 °C WT und nachts mit 18 °C WT gearbeitet, sollte die RT-Differenz (-2° C) ebenfalls möglichst identisch ausgeführt werden.
Zur klimatischen Gesamtsteuerung ist ergänzend die **SOP-RDWC-CAN-E1** (VPD & Transpirationssteuerung im RDWC) zu berücksichtigen.

Ziel hierbei ist es, die Transpiration trotz sinkender Wassertemperaturen aktiv aufrechtzuerhalten.

Das erhöhte VPD verstärkt diesen Effekt zusätzlich, da die Pflanze weiterhin aktiv Wasser verdunsten und transportieren muss, obwohl die physiologischen Bedingungen zunehmend anspruchsvoller werden.

Dadurch entsteht ein kontrollierter generativer Stress, welcher die Pflanze stärker in die generative Richtung lenkt, ohne die Wasseraufnahme vollständig zu reduzieren oder die Pflanze in negativen Stress zu überführen.


1.2. Einfluss des Umgebungsklimas auf die generative Steuerung
Überhöhtes VPD und angepasste Klima-Parameter verstärken den generativen Effekt trotz sinkender Wassertemperaturen.
KERNBOTSCHAFT
Die Wirkung der Temperatursteuerung wird zusätzlich maßgeblich durch das Umgebungsklima beeinflusst.
Insbesondere das VPD (Vapor Pressure Deficit) spielt eine zentrale Rolle bei der Aufrechterhaltung der Transpiration und Wasseraufnahme während der generativen Steuerung.
Zur klimatischen Gesamtsteuerung ist ergänzend die SOP-RDWC-CAN-E1 (VPD & Transpirationssteuerung im RDWC) zu berücksichtigen.
KLIMA-PARAMETER: VEGETATIV vs. GENERATIV (AB BULK-PHASE)
Parameter
VEGETATIVE PHASE (optimal / ausgeglichen)
GENERATIVE PHASE (AB BULK) (leicht über Empfehlung / insgesamt niedriger)
VPD (kPa)
Optimal / im empfohlenen Bereich z. B. 0,8 – 1,1 kPa
Leicht über Empfehlung z. B. 1,2 – 1,6 kPa
RT Tag (°C)
Optimal z. B. 24 – 26 °C
Niedriger z. B. 22 – 24 °C
RT Nacht (°C)
Optimal mit ausreichender DIF z. B. 20 – 22 °C
Niedriger mit angepasster DIF (siehe unten) z. B. 18 – 20 °C
RH Tag (%)
Optimal z. B. 60 – 65 %
Niedriger z. B. 50 – 55 %
RH Nacht (%)
Optimal z. B. 65 – 70 %
Niedriger z. B. 55 – 60 %
DIF (Tag – Nacht)
Ausreichend z. B. 3 – 4 °C
Angepasst an WT-Differenz (siehe rechts)
DIF-ANPASSUNG AN WASSERTEMPERATUR (WT)
Die Temperaturdifferenzen zwischen Tag und Nacht (DIF) der Raumtemperatur sollten der gefahrenen Wassertemperatur-Differenz entsprechen.
BEISPIEL
WT (Nährlösung)
Tag 20 °C
Nacht 18 °C
DIF WT = 2 °C
RT (Raumtemperatur)
Tag 24 °C
Nacht 22 °C
DIF RT = 2 °C
PRINZIP
WT-DIF ≈ RT-DIF
Für konsistente Tag-/Nacht-Signale, stabilen Stoffwechsel und optimale Steuerwirkung.
WIRKUNG AUF DIE PFLANZE
Hohe Transpiration aktiv aufrechterhalten
Physiologischen Druck erhöhen
Energieaufwand der Pflanze steigern
Generative Prozesse verstärken
Wasseraufnahme stabil halten – kein negativer Stress
WIRKMECHANISMUS: WARUM HÖHERES VPD GENERATIV WIRKT
1. Niedrigere Wassertemperatur
Stoffwechselaktivität in der Wurzelzone wird zunehmend erschwert.
2. Erhöhter Energieaufwand
Mehr Energie nötig für Wasseraufnahme, Nährstofftransport und Transpiration.
3. Erhöhtes VPD
Starker Transpirationsdruck zwingt die Pflanze, weiterhin aktiv Wasser zu verdunsten und zu transportieren.
4. Verstärkter metabolischer Druck
Pflanze arbeitet unter erschwerten Bedingungen aufrechterhalten → höherer Energieeinsatz.
5. Generativer Stress (kontrolliert)
Energie wird bevorzugt in Blütenaufbau, Verdichtung und Reifeprozesse investiert.
ZIEL DER KLIMA-STEUERUNG
Durch die Kombination aus niedrigerer Wassertemperatur, erhöhtem VPD und angepassten Klima-Parametern entsteht ein kontrollierter generativer Stress.
Ziel ist es, die Transpiration trotz sinkender Wassertemperaturen aktiv aufrechtzuerhalten, ohne die Wasseraufnahme zu blockieren oder die Pflanze in negativen Stress zu überführen.
NICHT ZIEL DER STEUERUNG
Transpiration reduzieren
Pflanze „herunterfahren" lassen
Wasseraufnahme blockieren
Negativen Stress verursachen
Leistungsabfall riskieren
ZIEL DER STEUERUNG
Transpiration hoch halten
Metabolische Arbeitslast erhöhen
Generative Prozesse aktivieren
Blütenleistung & Dichte steigern
Stabilität & Gesundheit erhalten
Erhöhtes VPD in Kombination mit angepasster RT-/RH-Steuerung und progressiv sinkender Wassertemperatur erzeugt gezielten metabolischen Druck und lenkt die Pflanze generativ – ohne die Wasseraufnahme zu blockieren.
Details zu VPD-Bereichen, Transpirationssteuerung und Klimamanagement siehe SOP-RDWC-CAN-E1 (VPD & Transpirationssteuerung im RDWC).

2. Vegetative & Generative Leistungssteuerung

2.1 Vegetatives Steering (Wachstum)

Ziel

- maximale Biomasse
- hohe Zellaktivität
- starke Wurzelentwicklung
- kontrolliert kompakte Pflanzenstruktur

Parameter

- Wassertemperatur: 19-20°C stabil
- DO: ≥ 8 mg/L
- ORP: 300–380 mV
- EC: leicht reduziert („hungry state“)
- hohe stabile Transpiration (optimales RDWC-VPD)

Ergebnis

- hohe Wasseraufnahme
- schnelles Wachstum
- starke Zellteilung
- kontrollierte Internodienabstände
- maximale vegetative Aktivität

2.2 Generatives Steering (Leistung)

Ziel

- Blütenverdichtung
- höhere Leistungsdichte
- kompakter Wuchs
- kontrollierter metabolischer Stress

Primärer Hebel

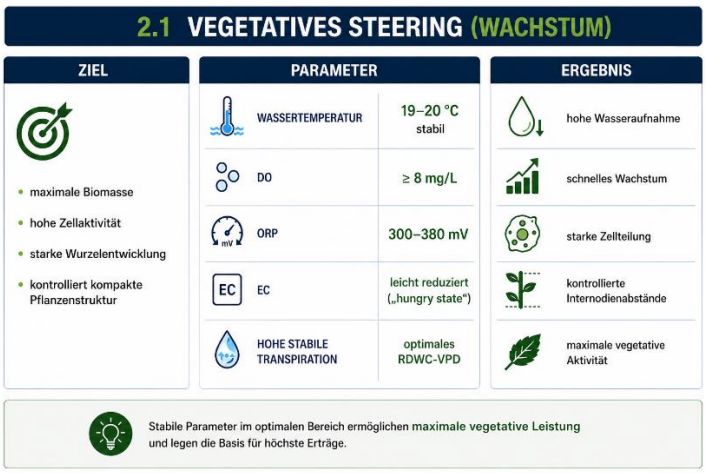
→ Progressive Absenkung der Wassertemperatur

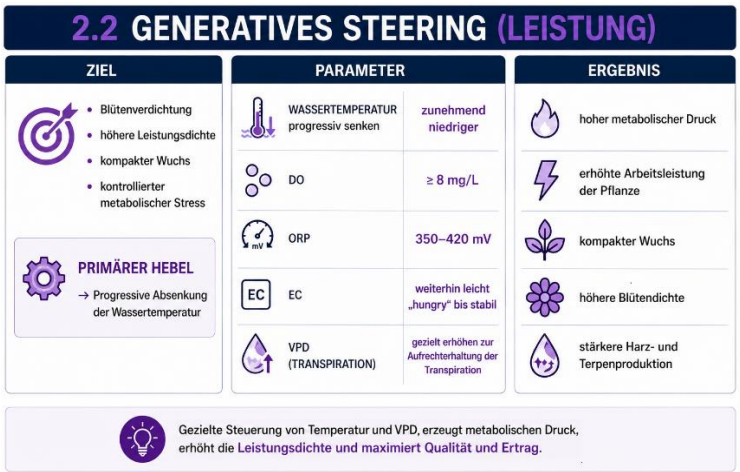
Parameter

- Wassertemperatur progressiv senken
- DO stabil ≥ 8 mg/L
- ORP: 350–420 mV
- EC weiterhin leicht „hungry“ bis stabil
- VPD gezielt erhöhen zur Aufrechterhaltung der Transpiration

Ergebnis

- hoher metabolischer Druck
- erhöhte Arbeitsleistung der Pflanze
- kompakter Wuchs
- höhere Blütendichte
  stärkere Harz- und Terpenproduktion





3. Wassertemperatur Strategie ab der Bulk-Phase

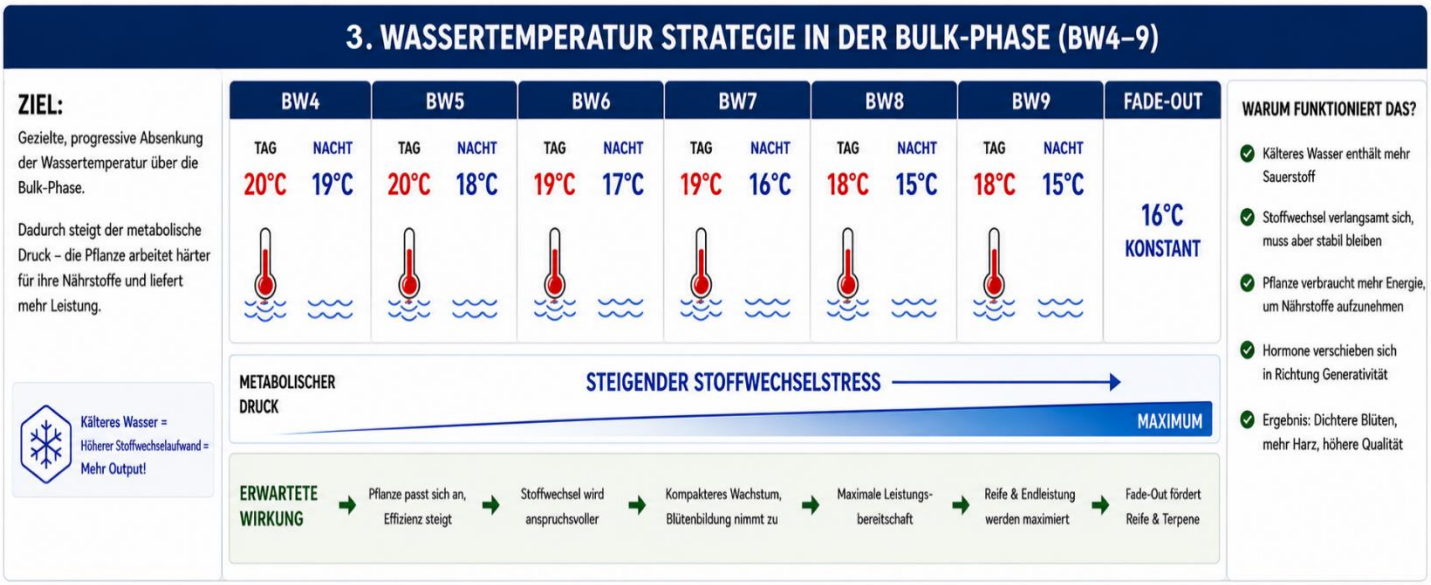
Die Strategie basiert auf einem adaptierten Prinzip aus dem professionellen Gartenbau bzw. Agrarbereich, welches häufig als „Cold Morning Routine“ bzw. temperaturgesteuerte Morgensteuerung eingesetzt wird.

Dabei werden Pflanzen gezielt mit niedrigeren Temperaturreizen konfrontiert, um Stoffwechsel, Transpiration und hormonelle Prozesse bewusst zu beeinflussen.

Das ursprüngliche Konzept stammt überwiegend aus dem Zierpflanzen-, Gemüse- und Gewächshausanbau, wo Temperaturdifferenzen gezielt genutzt werden, um:

- kompakteres Wachstum zu fördern
- Streckung zu reduzieren
- generative Prozesse zu verstärken
- die Energieverteilung der Pflanze zu beeinflussen

Die hier dargestellte RDWC-Strategie adaptiert dieses Prinzip direkt auf die Wurzelzone via den Wassertemperatur.


3. WASSERTEMPERATUR STRATEGIE IN DER BULK-PHASE (BW4–9)
ZIEL:
Gezielte, progressive Absenkung der Wassertemperatur über die Bulk-Phase.
Dadurch steigt der metabolische Druck – die Pflanze arbeitet härter für ihre Nährstoffe und liefert mehr Leistung.
Kälteres Wasser = Höherer Stoffwechselaufwand = Mehr Output!
BW4 TAG 20°C NACHT 19°C
BW5 TAG 20°C NACHT 18°C
BW6 TAG 19°C NACHT 17°C
BW7 TAG 19°C NACHT 16°C
BW8 TAG 18°C NACHT 15°C
BW9 TAG 18°C NACHT 15°C
FADE-OUT 16°C KONSTANT
METABOLISCHER DRUCK
STEIGENDER STOFFWECHSELSTRESS
MAXIMUM
ERWARTETE WIRKUNG
Pflanze passt sich an, Effizienz steigt
Stoffwechsel wird anspruchsvoller
Kompakteres Wachstum, Blütenbildung nimmt zu
Maximale Leistungs-bereitschaft
Reife & Endleistung werden maximiert
Fade-Out fördert Reife & Terpene
WARUM FUNKTIONIERT DAS?
Kälteres Wasser enthält mehr Sauerstoff
Stoffwechsel verlangsamt sich, muss aber stabil bleiben
Pflanze verbraucht mehr Energie, um Nährstoffe aufzunehmen
Hormone verschieben sich in Richtung Generativität
Ergebnis: Dichtere Blüten, mehr Harz, höhere Qualität

Die Pflanze reagiert darauf mit einer höheren Leistungsdichte und investiert zunehmend Ressourcen in Blütenentwicklung, Harzbildung sowie im späteren Verlauf in eine gleichmäßigere und einheitlichen End-Reife der Trichomen Köpfe.

3.1 Individuelle Pflanzenreaktion & Feinabstimmung der Strategie

Die dargestellte Strategie dient als praxisorientierte Grundstruktur, muss jedoch immer in Abhängigkeit der tatsächlichen Pflanzenreaktion bewertet werden.

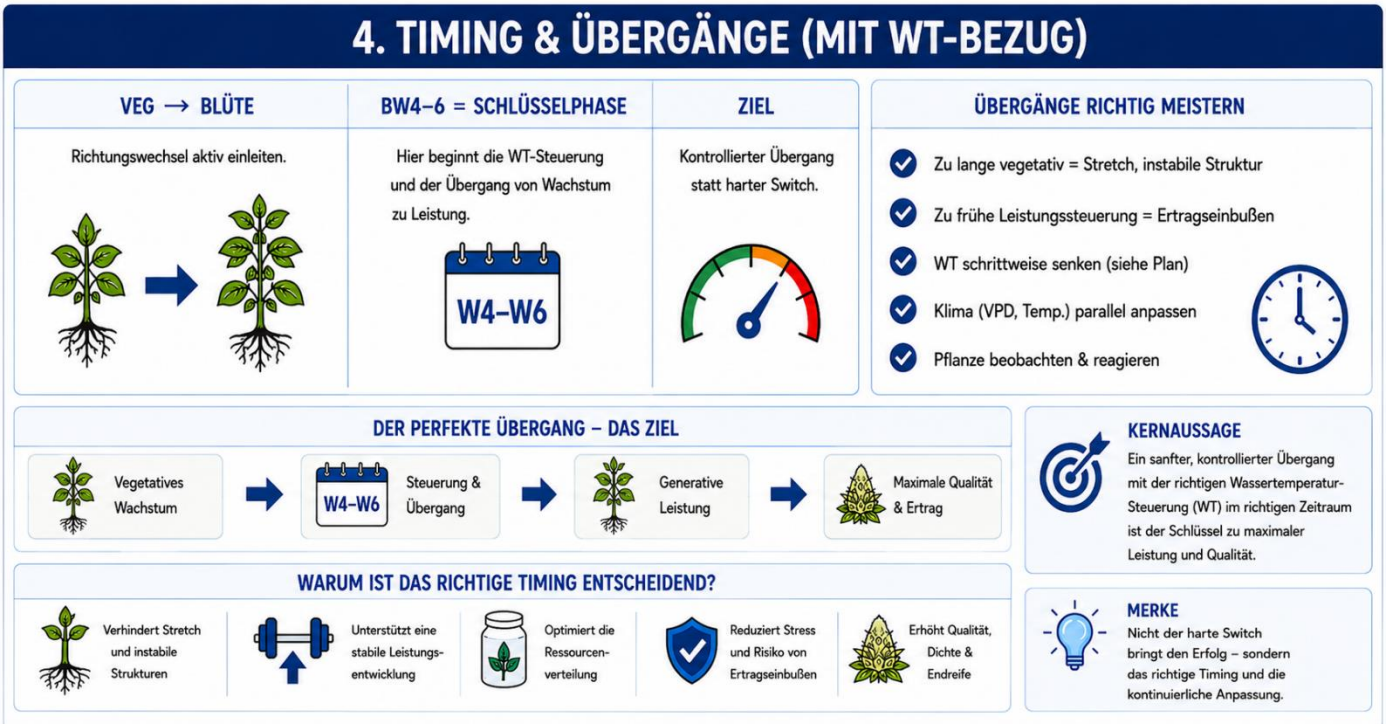
Entscheidend ist hierbei die Fähigkeit, das Verhalten der Pflanze korrekt zu beobachten, zu lesen und zu interpretieren. Faktoren wie Systemaufbau, Genetik, Strain, Phänotyp, Pflanzenvitalität sowie das jeweilige Klima- und Stoffwechselverhalten beeinflussen maßgeblich, wie aggressiv oder moderat die Steuerung gefahren werden kann.
Die Parameter sollten daher niemals starr übernommen, sondern individuell auf das jeweilige RDWC-System und die spezifische Pflanzenreaktion angepasst werden.

4. Timing & Übergänge

Die generative Leistungssteuerung beginnt nicht abrupt, sondern durch einen kontrollierten und schrittweisen Übergang von vegetativem Wachstum zu generativer Leistung.

Der kritische Zeitraum hierfür liegt typischerweise zwischen BW4–6. In dieser Phase startet die gezielte Wassertemperatur-Steuerung (WT-Steuerung) und damit die aktive Verschiebung des Pflanzenstoffwechsels.

Hierbei werden die Wassertemperaturen täglich entsprechend der Tag- und Nachtphase am Water-Chiller angepasst, um die gewünschten Temperaturdifferenzen kontrolliert umzusetzen und den metabolischen Reiz gezielt zu steuern.
Das Ziel ist kein harter „Switch“, sondern eine kontrollierte metabolische Umlenkung der Pflanze.


4. TIMING & ÜBERGÄNGE (MIT WT-BEZUG)
VEG → BLÜTE
Richtungswechsel aktiv einleiten.
BW4–6 = SCHLÜSSELPHASE
Hier beginnt die WT-Steuerung und der Übergang von Wachstum zu Leistung.
W4–W6
ZIEL
Kontrollierter Übergang statt harter Switch.
ÜBERGÄNGE RICHTIG MEISTERN
Zu lange vegetativ = Stretch, instabile Struktur
Zu frühe Leistungssteuerung = Ertragseinbußen
WT schrittweise senken (siehe Plan)
Klima (VPD, Temp.) parallel anpassen
Pflanze beobachten & reagieren
DER PERFEKTE ÜBERGANG – DAS ZIEL
Vegetatives Wachstum
W4–W6
Steuerung & Übergang
Generative Leistung
Maximale Qualität & Ertrag
KERNAUSSAGE
Ein sanfter, kontrollierter Übergang mit der richtigen Wassertemperatur-Steuerung (WT) im richtigen Zeitraum ist der Schlüssel zu maximaler Leistung und Qualität.
WARUM IST DAS RICHTIGE TIMING ENTSCHEIDEND?
Verhindert Stretch und instabile Strukturen
Unterstützt eine stabile Leistungs-entwicklung
Optimiert die Ressourcen-verteilung
Reduziert Stress und Risiko von Ertragseinbußen
Erhöht Qualität, Dichte & Endreife
MERKE
Nicht der harte Switch bringt den Erfolg – sondern das richtige Timing und die kontinuierliche Anpassung.

4.1 Übergänge richtig steuern

Die Wassertemperatur sollte niemals schlagartig abgesenkt werden.
Stattdessen erfolgt die Steuerung progressiv und kontrolliert über mehrere Wochen, damit:

- die Transpiration stabil bleibt
- die Wasseraufnahme nicht einbricht
- der Stoffwechsel sich anpassen kann
- die Pflanze unter Belastung weiterhin leistungsfähig bleibt

Parallel dazu müssen Klima-Parameter wie:

- VPD
- Raumtemperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Sauerstoffsättigung (DO)

entsprechend mitgeführt und angepasst werden.

5. Risiken & Fehlsteuerungen

Die generative WT-Steuerung ist ein leistungsorientiertes Werkzeug und keine „Mehr-ist-besser"-Strategie. Eine zu aggressive oder falsch getimte Steuerung kann die Pflanze schnell aus dem optimalen Leistungsbereich bringen.
Das Ziel ist kontrollierter metabolischer Druck, nicht unnötiger Stress!

Zu schnelle oder zu starke WT-Absenkung
Werden die Wassertemperaturen zu schnell oder zu stark abgesenkt, kann die Pflanze in Kälteschock geraten und den Stoffwechsel nicht sauber anpassen. Die Folge sind häufig instabile Wasseraufnahme, verlangsamte Nährstoffaufnahme sowie sichtbare Stressreaktionen.
Kälter bedeutet hierbei nicht automatisch besser.

Instabile Klima- und Sauerstoffführung
Die WT-Steuerung funktioniert niemals isoliert. Raumtemperatur, Luftfeuchtigkeit und VPD müssen parallel angepasst und stabil gehalten werden.
Falsch geführte Klima-Parameter können die Transpiration verschlechtern und die Leistungsfähigkeit der Wurzelzone deutlich reduzieren.

Fehlerhaftes Timing
Eine zu frühe generative Steuerung kann die Pflanze ausbremsen, bevor ausreichend Biomasse, Wurzelmasse und strukturelle Stabilität aufgebaut wurden.
Der Übergang muss daher immer zur tatsächlichen Pflanzenentwicklung passen, nicht nur zum Wochenplan.

Pflanzenreaktion entscheidet
Jedes Genetik und jeder Phänotyp reagiert unterschiedlich auf metabolischen Druck.
Die dargestellten Parameter dienen deshalb ausschließlich als Orientierung und müssen anhand der tatsächlichen Pflanzenreaktion individuell angepasst werden.
Die Pflanze selbst bleibt dabei immer das wichtigste Kontrollinstrument.

---

6. Monitoring & Kontrolle

Die kontrollierte WT-Steuerung erfordert eine kontinuierliche Überwachung aller relevanten Wasser-, Klima- und Pflanzenparameter. Bereits kleine Abweichungen können die gewünschte Steuerwirkung beeinflussen oder zu instabilen Pflanzenreaktionen führen.
Eine regelmäßige Kontrolle dient daher nicht nur der Stabilität des Systems, sondern auch der frühzeitigen Erkennung von Fehlsteuerungen, metabolischem Stress oder instabiler Wasseraufnahme.

6. DOKUMENTATION & REPRODUZIERBARKEIT

Für eine reproduzierbare Steuerung wird empfohlen,
alle relevanten Verlaufsdaten systematisch zu dokumentieren.

ZU DOKUMENTIEREN	ZIEL
WT TAG/NACHT	Verlauf der Wassertemperaturen in Tag- und Nachtphase
RT / RH	Raumtemperatur und relative Luftfeuchtigkeit
VPD	Verlauf des Vapor Pressure Deficit (Transpirationssteuerung)
pH	pH-Verlauf der Nährlösung
EC	EC-Verlauf der Nährlösung (Wasseraufnahme & Nährstoffverbrauch)
DO / ORP	Sauerstoffgehalt und Redoxpotential der Nährlösung
PFLANZENREAKTIONEN	Beobachtungen zu Wachstum, Blattstellung, Transpiration, Blütenentwicklung
ANPASSUNGEN DER STEUERPARAMETER	Änderungen an WT, VPD, EC, pH, Klima oder anderen Steuerparametern
AUFFÄLLIGKEITEN ODER STRESSREAKTIONEN	Besondere Vorkommnisse oder Anzeichen von Stress / Fehlsteuerung

6.1 Pflanzenbeobachtung

Neben den Messwerten bleibt die Pflanze selbst das wichtigste Kontrollinstrument.

6.1 PFLANZENBEOBACHTUNG

Neben den Messwerten bleibt die Pflanze selbst
das wichtigste Kontrollinstrument.

BESONDERS RELEVANT SIND	WORAUF ZU ACHTEN IST
WASSERAUFNAHME	Aufnahmeverhalten der Pflanze über EC-Verlauf, Blatform und allgemeine Vitalität beurteilen.
BLATTSTELLUNG	Blattwinkel und Ausrichtung geben Hinweise auf Transpiration, Stoffwechselaktivität und Stressniveau.
TRANSPIRATIONSVERHALTEN	Schweißrate und Verdunstungsverhalten zeigen, ob die Pflanze aktiv arbeitet oder Einschränkungen bestehen.
PFLANZENVITALITÄT	Farbe, Turgor und allgemeiner Eindruck geben Aufschluss über Gesundheit und Belastbarkeit der Pflanze.
BLÜTENENTWICKLUNG	Blütenaufbau, Verdichtung und Harzbildung zeigen, ob die Steuerung in die gewünschte Richtung wirkt.
ALLGEMEINE LEISTUNGSREAKTION	Wachstumsverhalten, Reaktionsgeschwindigkeit und Gesamtleistung der Pflanze beobachten und bewerten.

Alle Veränderungen sollten immer im Zusammenhang mit den aktuellen WT-, Klima- und EC-Verläufen bewertet werden.

7. Fade-Out & finale Reifephase

Der Fade-Out beschreibt die finale Steuerphase der Pflanze und dient der kontrollierten Einleitung der natürlichen Endreife (Seneszenz).

Konstante niedrige Wassertemperatur

Typischerweise wird die Nährlösung hierbei stabil im Bereich von ca. 16 °C gehalten. Weitere aggressive Temperaturabsenkungen erfolgen nicht mehr, da der Fokus nun auf der Stabilisierung der Wurzelzone, der kontrollierten Verlangsamung des Stoffwechsels sowie der Aufrechterhaltung einer stabilen Sauerstoffverfügbarkeit liegt.

Zusammenhang mit Seneszenz

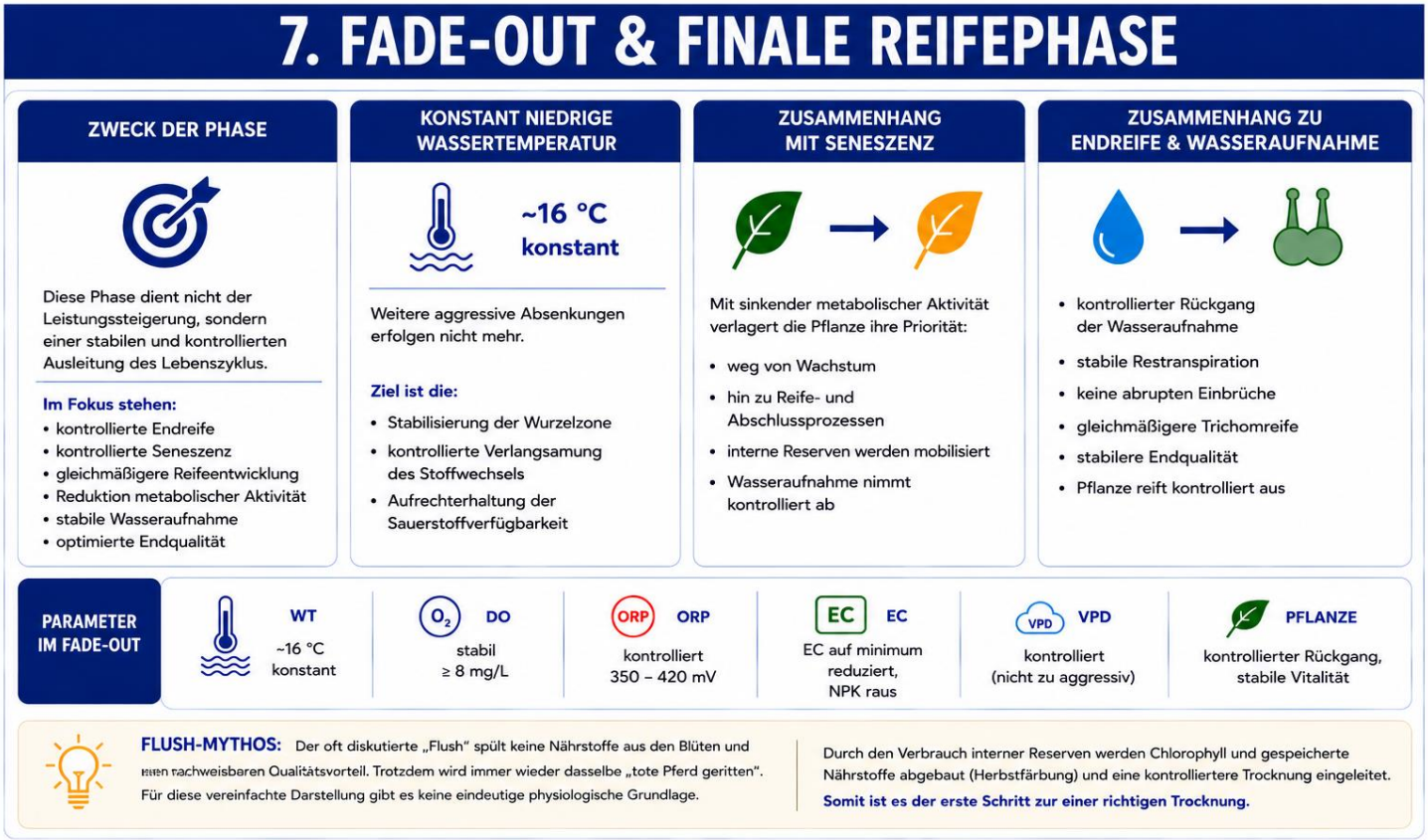
Mit sinkender metabolischer Aktivität verlagert die Pflanze ihre physiologische Priorität zunehmend von aktivem Wachstum hin zu Reife- und Abschlussprozessen. Die Wasseraufnahme nimmt hierbei häufig kontrolliert ab, ohne dass die Pflanze abrupt in negativen Stress oder einen vollständigen Leistungszusammenbruch überführt werden soll.

Ziel der Phase

Der Fade-Out dient insbesondere der Förderung einer gleichmäßigeren Endreife, einer kontrollierten Seneszenz sowie einer stabilen Trichom- und Blütenentwicklung bis zum Erntezeitpunkt. Die Pflanze beendet hierbei kontrolliert ihren Lebenszyklus unter weiterhin stabilen Wasser-, Klima- und Sauerstoffbedingungen. Die finale Phase basiert nicht auf maximalem Stress, sondern auf stabiler und kontrollierter Reduktion der Pflanzenaktivität.

Flush-Mythos

wird weiterhin dasselbe „tote Pferd geritten“, indem behauptet wird, ein klassischer Flush würde aktiv Nährstoffe aus den Blüten „ausspülen“ oder für einen „Terpenen-Boost“ sorgen.
Der praktische Nutzen eines kontrollierten Fade-Outs liegt vielmehr in der reproduzierbaren Steuerung der finalen Pflanzenphase. Durch den kontrollierten Verbrauch interner Reserven werden unter anderem Chlorophyll und gespeicherte Nährstoffe zunehmend abgebaut, was die typische Herbstfärbung der Blätter verursacht und gleichzeitig eine gleichmäßigere und kontrollierbarere Trocknung unterstützen kann.
Somit beginnt eine saubere Trocknung nicht erst nach der Ernte, sondern bereits kontrolliert während der finalen Reifephase der Pflanze.


7. FADE-OUT & FINALE REIFEPHASE
ZWECK DER PHASE
Diese Phase dient nicht der Leistungssteigerung, sondern einer stabilen und kontrollierten Ausleitung des Lebenszyklus.
Im Fokus stehen:
• kontrollierte Endreife
• kontrollierte Seneszenz
• gleichmäßigere Reifeentwicklung
• Reduktion metabolischer Aktivität
• stabile Wasseraufnahme
• optimierte Endqualität
KONSTANT NIEDRIGE WASSERTEMPERATUR
~16 °C konstant
Weitere aggressive Absenkungen erfolgen nicht mehr.
Ziel ist die:
• Stabilisierung der Wurzelzone
• kontrollierte Verlangsamung des Stoffwechsels
• Aufrechterhaltung der Sauerstoffverfügbarkeit
ZUSAMMENHANG MIT SENESZENZ
Mit sinkender metabolischer Aktivität verlagert die Pflanze ihre Priorität:
• weg von Wachstum
• hin zu Reife- und Abschlussprozessen
• interne Reserven werden mobilisiert
• Wasseraufnahme nimmt kontrolliert ab
ZUSAMMENHANG ZU ENDREIFE & WASSERAUFNAHME
• kontrollierter Rückgang der Wasseraufnahme
• stabile Restranspiration
• keine abrupten Einbrüche
• gleichmäßigere Trichomreife
• stabilere Endqualität
• Pflanze reift kontrolliert aus
PARAMETER IM FADE-OUT
WT ~16 °C konstant
DO stabil ≥ 8 mg/L
ORP kontrolliert 350 – 420 mV
EC EC auf minimum reduziert, NPK raus
VPD kontrolliert (nicht zu aggressiv)
PFLANZE kontrollierter Rückgang, stabile Vitalität
FLUSH-MYTHOS: Der oft diskutierte „Flush“ spült keine Nährstoffe aus den Blüten und bietet nachweisbaren Qualitätsvorteil. Trotzdem wird immer wieder dasselbe „tote Pferd geritten“. Für diese vereinfachte Darstellung gibt es keine eindeutige physiologische Grundlage.
Durch den Verbrauch interner Reserven werden Chlorophyll und gespeicherte Nährstoffe abgebaut (Herbstfärbung) und eine kontrolliertere Trocknung eingeleitet.
Somit ist es der erste Schritt zur einer richtigen Trocknung.

8. Quellen & Referenzen

Die Inhalte dieser SOP basieren auf einer Kombination aus praxisorientierten RDWC-Erfahrungswerten, pflanzenphysiologischen Grundlagen sowie bekannten Steuerungsprinzipien aus dem professionellen Gartenbau und Controlled-Environment-Agriculture-(CEA)-Bereich.

Berücksichtigt wurden insbesondere folgende Themenbereiche:

- Controlled Environment Agriculture (CEA)
- Greenhouse Crop Steering & Climate Steering
- Pflanzenphysiologie & metabolische Pflanzenreaktionen
- VPD- und Transpirationsmodelle
- Sauerstofflöslichkeit und Temperaturverhalten in Wasser
- Seneszenz- und Reifephysiologie
- praktische RDWC-Feldbeobachtungen und Langzeiterfahrungen
- Wasser-, Klima- und Stoffwechselsteuerung in rezirkulierenden Hydroponiksystemen

Die beschriebenen Steuerstrategien basieren teilweise auf adaptierten Prinzipien aus dem professionellen Gewächshausanbau, wurden jedoch speziell auf RDWC-Systeme und deren physiologische Besonderheiten übertragen und praxisorientiert weiterentwickelt.

Diese SOP erhebt keinen Anspruch auf universelle wissenschaftliche Gültigkeit aller beschriebenen Parameter, sondern dient als technisch-praktische Leitlinie zur reproduzierbaren Pflanzensteuerung unter stabilen RDWC-Bedingungen.

---

9. Ablaufdiagramm / Steuerkette

9. ABLAUFDIAGRAMM / STEUERKETTE
PHYSIOLOGISCHE PROZESSKETTE DER GENERATIVEN STEUERUNG IM RDWC
Die generative Steuerung im RDWC erfolgt über eine kontrollierte Verkettung physiologischer Prozesse. Die progressive Absenkung der Wassertemperatur (WT) ist der primäre Steuerhebel zur Erhöhung des metabolischen Drucks bei stabil gehaltenen Systembedingungen.
1
STABILE RDWC-BASISBEDINGUNGEN
Stabiles System
Saubere Parameter
Ausreichend O2
Konstante Einleitung
Voraussetzung für jede Steuerung
2
PROGRESSIVE WT-ABSENKUNG
WT wird schrittweise auf ~16 °C gesenkt (konstant halten)
Primärer Steuerhebel
3
STEIGENDER METABOLISCHER DRUCK
Kältere Wassertemperatur erhöht den metabolischen Druck bei gleichzeitiger O2-Verfügbarkeit
Pflanze muss mehr Energie aufwenden
4
AKTIVE AUFRECHTERHALTUNG DER TRANSPIRATION
Optimales VPD, Licht, Luftstrom und Klima halten die Transpiration aktiv
Transpiration = Transportmotor
5
ERHÖHTE PHYSIOLOGISCHE ARBEITSLEISTUNG
Mehr Energiebedarf für Stoffwechsel, Transport und Kältestress-Ausgleich
Höhere Effizienz & Leistungsdichte
6
GENERATIVE STOFFWECHSEL-VERSCHIEBUNG
Pflanze priorisiert Blütenbildung und Reife vor weiterem Wachstum
Wechsel von „Wachstum“ zu „Reproduktion“
7
KOMPAKTERES WACHSTUM & HÖHERE BLÜTENDICHTE
Internodien verkürzen sich, Blütenbildung wird dichter und homogener
Mehr Ertrag pro Fläche
8
KONTROLLIERTE ENDREIFE & FADE-OUT
Metabolische Aktivität nimmt ab, interne Reserven werden kontrolliert verbraucht
Saubere Endreife unter Kontrolle
9
REPRODUZIERBARE TROCKNUNG & ENDQUALITÄT
Gleichmäßigere Trocknung, bessere Aromabildung und Endqualität
Ziel: Höchste und stabile Qualität
EINFLUSSFAKTOREN (MÜSSEN STABIL GEHALTEN WERDEN)
WASSERTEMPERATUR
~16 °C konstant
SAUERSTOFF (DO)
stabil ≥ 8 mg/L
REDOX (ORP)
350 – 420 mV
ELEKTRISCHE LEITFÄHIGKEIT
Minimum reduziert, NPK raus
VPD
kontrolliert (nicht zu aggressiv)
KLIMA & LUFTSTROM
stabil, homogen, ohne Stressspitzen
KERNAUSSAGE
Die gezielte Absenkung der Wassertemperatur erhöht den metabolischen Druck, während stabile Transpiration und optimale Systembedingungen die Pflanze zu höherer physiologischer Leistung und generativer Priorisierung führen.
Das Ergebnis: höhere Leistungsdichte, bessere Endreife und reproduzierbare Endqualität.
KONTROLLIERT.
STABIL.
REPRODUZIERBAR.